

# Recuperación local de rutas en AODV basada en NHDP

Guillermo Rigotti

UNICEN Fac. de Ciencias Exactas-ISISTAN,  
Pje. Arroyo Seco, (7000) Tandil, Bs. As. Argentina  
Email: guillermo.rigotti@gmail.com

**Resumen** Una red MANET (Mobile Ad Hoc Network) es una red de nodos móviles sin infraestructura, con una topología altamente dinámica. Los nodos cumplen funciones de ruteo, y mantienen rutas a los diferentes destinos utilizando protocolos de ruteo modificados. AODV es uno de los más difundidos. Incluye procedimientos de recuperación local de rutas, que dependen de información topológica relativa a nodos vecinos. NHDP (Neighborhood Discovery Protocol), es un protocolo genérico que provee información topológica a los nodos de una red móvil. Deriva del proceso de descubrimiento de nodos vecinos de OLSR (Optimized Link State Routing protocol).

En este trabajo proponemos un mecanismo de recuperación local de rutas basado en NHDP, que complementa y en muchos casos reemplaza eficientemente a la recuperación local de AODV. La propuesta es compatible con AODV, porque el procedimiento se dispara antes que el de recuperación local de AODV, y en caso de no tener éxito, se continúa con este último.

**Palabras Clave:** Redes móviles, MANET, Ruteo

## 1 Introducción

En los últimos años se ha desarrollado una diversidad de equipos móviles (laptops, teléfonos, etc.) que soportan TCP/IP y se comunican a través de medios inalámbricos, como IEEE 802.11, bluetooth, etc. Cuando no se cuenta con una infraestructura de comunicaciones, estamos en presencia de las denominadas redes móviles ad hoc (MANET). En estas redes, no hay equipos encargados de arbitrar la comunicación, sino que todos cumplen funciones de soporte de la red (por ejemplo asumir el rol de Access Point, o colaborar en la función de ruteo a nivel de red).

La función de ruteo es uno de los aspectos más relevantes y de mayor complejidad en el nivel de red. En particular, en redes MANET, los protocolos de ruteo deben ser adaptados a las condiciones propias de este tipo de red: topologías altamente variables debido a la movilidad de los equipos, posibles fallas o interferencias en los canales inalámbricos, limitación de recursos de memoria y proceso en los equipos, y autonomía limitada entre otros factores. En este contexto, ha surgido

diversidad de protocolos de ruteo, que en gran parte son modificaciones a los aplicables a redes fijas. Los protocolos más representativos y de mayor difusión son AODV [1] y OLSR [2].

En particular, AODV es un protocolo escalable en cuanto al crecimiento de la red y que presenta un comportamiento aceptable ante cambios en la topología. Para tratar con este último aspecto, incorpora dos mecanismos que se activan cuando se necesita enviar un paquete a un destino del cual se ha perdido la ruta debido a alguna falla: en primer término y bajo ciertas condiciones, se intenta realizar una recuperación local, que se limita a un cierto radio cercano a la falla, no asegurando éxito, ni en el caso de lograrlo, la optimalidad de la ruta obtenida; luego se realiza una recuperación de mayor alcance que asegura resultados positivos y una ruta óptima.

Una parte significativa de los trabajos de investigación realizados sobre AODV, se refiere a la recuperación local [4] [5] [6] [7], proponiéndose modificaciones que mejoran el comportamiento del protocolo original.

En este trabajo, se propone un procedimiento que denominamos "reemplazo de nodo", que a diferencia de los procedimientos anteriormente mencionados, que intentan recuperar la ruta perdida, intenta encontrar uno o más nodos de reemplazo que sustituyan al nodo con el que se perdió conectividad (por falla o movimiento). Este procedimiento se caracteriza por un bajo consumo de recursos, y en caso de no lograr recuperar la ruta, se da lugar al procedimiento standard propuesto en AODV. En gran parte de los casos, el procedimiento de recuperación de nodo recupera, además de la ruta buscada, otras que dependían también del nodo en falla.

El resto del trabajo está organizado de la siguiente manera. En la sección 2 se hace una breve referencia al trabajo relacionado con la recuperación local en AODV, en la sección 3, se describe brevemente el funcionamiento de AODV, poniendo énfasis en los procedimientos de recuperación local y mantenimiento de información acerca de nodos vecinos. En la sección 4 se describe detalladamente el mecanismo de reemplazo de nodo presentado. La sección 5 presenta una primera evaluación del método realizada empleando simulación, finalizando con la sección 6 en la que se resumen las conclusiones y el trabajo en curso que continúa al presentado aquí.

## 2 Trabajo relacionado

Se mencionan a continuación algunos trabajos que apuntan a mejorar la recuperación local de rutas en AODV. Todos ellos se refieren a mejorar el procedimiento de búsqueda de la ruta buscada, a diferencia de nuestra propuesta que intenta reemplazar el nodo perdido por otro u otros que permitan seguir manteniendo rutas a los destinos afectados (en particular, la ruta que es requerida y dispara el procedimiento).

En [5] se propone una modificación a la recuperación local de AODV (AODV with Local Repair Trials). El objetivo buscado es reducir la carga en la red que produce el procedimiento de recuperación local y disminuir su demora en en-

contrar una ruta. La diferencia principal consiste en que en AODV se realiza un único intento de recuperación local, enviando broadcast un RREQ con un alcance (TTL) determinado, mientras que AODVLRT propone una serie de intentos, partiendo con un alcance predeterminado e incrementándolo (hasta un límite máximo) en un cierto valor hasta obtener los RREP correspondientes. EAODVLRT (Extended Ad Hoc on Demand Distance Vector Local Repair Trial for MANET) [6] tiene por objetivo mejorar a AODVLRT minimizando el flooding, para lo cual se introduce el concepto de perímetro de ruteo (perimeter routing).

En ELRAODV (Enhanced Local Repair AODV) [7] se propone un mecanismo de recuperación local a cargo del nodo upstream, basado en que cada nodo conoce, además del próximo nodo (nexthop) hacia una ruta, al nexthop de este nexthop. Adicionalmente el nodo debe conocer los nodos vecinos (neighbors) de sus vecinos. De esta manera, es posible enviar un mensaje unicast de recuperación a un nodo vecino que a su vez es neighbor del nexthop del nexthop. Para esto se proponen dos modificaciones al protocolo AODV: el agregado del campo nexthop al mensaje RREP y el reemplazo del mensaje Hello por Nhello. Es necesario además modificar las tablas de ruteo ya que por cada ruta, debe conocerse el nexthop del nexthop. Para lograr la reconexión, se crea un nuevo mensaje LL-REQ, el cual es respondido por RREPs. La diferencia con la solución propuesta en este trabajo es que en nuestro caso no es necesario conocer el nexthop del nexthop, lo cual hace innecesaria la modificación del RREP y de las tablas de ruteo AODV; por otro lado, el procedimiento de recuperación no se aplica ruta por ruta, sino que involucra a todas las rutas que tenían por nexthop al nodo que falló.

### 3 AODV

AODV es un protocolo escalable en cuanto al tamaño de la red, ya que los nodos que actúan como routers sólo necesitan conocer las rutas en las cuales están involucrados. Posee la característica de no producir ciclos, ya que cada vez que se produce una modificación a una ruta, se incrementa el número de secuencia relacionado con ella para que no sea confundida con rutas anteriores hacia ese destino.

La operación simplificada de AODV es la siguiente:

Cuando un nodo necesita conocer la ruta a un destino, emite en broadcast un paquete RREQ, éste se difunde por la red hasta que llega al destino o bien a un nodo intermedio que ya conoce la ruta (y que tiene un número de secuencia mayor o igual al contenido en el RREQ); en cualquiera de estos casos, el nodo (destino o intermedio) emite un paquete unicast RREP, dirigido al nodo inmediato anterior (del que recibió el RREQ), indicando su costo a la ruta solicitada y el número de secuencia. Si el nodo que recibió el RREQ no es el destino pero tiene la ruta, continúa emitiendo RREQ hacia el destino para completar la ruta reversa, pero indicando que éste no sea respondido. Los nodos tienen un registro de los RREQs que han recibido, para no procesarlos nuevamente.

Cada nodo involucrado en una ruta a un destino, conserva una entrada asociada en la tabla de ruteo, que contiene, entre otras cosas, el próximo nodo hacia el destino (nexthop), el número de secuencia de la ruta, el tiempo de validez de la ruta (que se renueva cada vez que se envía un datagrama al destino) y una lista de nodos precursores, que son aquellos que han solicitado la ruta a través de un RREQ (es decir, los que enviarán datagramas dirigidos al destino para que el nodo los reenvíe).

Cada nodo monitorea el estado de las líneas, y cuando detecta una falla, inicia un mecanismo de recuperación. Este consiste en el envío de un RERR a los posibles nodos afectados (sus precursores) por el nodo ya no alcanzable. Previo al inicio del mecanismo de recuperación, y bajo ciertas condiciones, es posible poner en funcionamiento un procedimiento de recuperación local descrito más adelante. La propuesta presentada en este paper consiste en el agregado de un nuevo mecanismo previo a la recuperación local, que permite, en ciertos casos, evitar la puesta en marcha de los mencionados procedimientos, resultando en un costo menor.

AODV monitorea constantemente la conectividad con sus vecinos involucrados en las diferentes rutas activas (nexthops y precursores). Para ello utiliza métodos basados en el nivel link layer, en el nivel IP o propios según sea necesario (esto incluye la recepción de HELLOs). Al detectar la falta de conectividad, se inician los procedimientos de recuperación descritos antes.

La recuperación local en AODV es un procedimiento opcional que puede ser ejecutado inmediatamente al ser detectada la caída de un link para una ruta activa. Está a cargo del router upstream a la falla (respecto de la ruta perdida). Este procedimiento se lleva a cabo sólo para la ruta al destino y no para las demás que dependen del link cado. La recuperación local se inicia sólo si la falla está a una distancia menor o igual del nodo destino que el parámetro MAX\_REPAIR\_TTL. El procedimiento consiste en el envío de un RREQ broadcast con un TTL predeterminado, luego de lo cual se espera un tiempo máximo prefijado por una respuesta (RREP). En caso de no obtener la respuesta, o bien si se tuvo éxito pero el nuevo camino es más largo (lo que generalmente ocurre en recuperación local), el nodo iniciará el procedimiento de recuperación de errores, enviando un RERR. El beneficio de la recuperación local es que es posible, en forma transitoria, continuar enviando paquetes al destino afectado, por una ruta más larga, hasta la recuperación definitiva.

#### 4 Recuperación por reemplazo de nodo

En este trabajo se propone implementar un mecanismo de reemplazo del nodo con el que se perdió la conexión, y que se ejecuta previamente a cualquier otro mecanismo de recuperación de AODV, incluida la recuperación local, si es posible aplicarla. Este nuevo mecanismo intenta, ante la caída de un nodo, su reemplazo por otro(s) nodo(s) vecino(s) que puedan oficiar de nexthops para las rutas perdidas. Este reemplazo no implica consecuencias en el ruteo AODV, por lo tanto es transparente a los nodos a distancia mayor que 2 del nodo desconectado, y

no cambia la métrica ni el número de secuencia de las rutas.

A diferencia del mecanismo de recuperación local, no produce rutas sub óptimas (si consideramos como métrica el número de hops), y por lo tanto no es necesario recurrir a procedimientos posteriores de mejoramiento de rutas.

En resumen, cuando se produce una falla, se intenta el reemplazo de nexthop para las rutas afectadas (aquellas cuyo nexthop es el nodo caído). Si se logra encontrar un nodo que actúe como nexthop para la ruta que originó la recuperación, se da por terminado el proceso con éxito. En la mayoría de los casos, además de recuperar la ruta mencionada, se recuperan rutas a algunos o a todos los destinos afectados. Si no se recupera la ruta buscada originalmente, (puede haberse recuperado otras), se inician para ella los mecanismos previstos por AODV.

El mecanismo de reemplazo propuesto aquí se basa en que gran parte de las pérdidas de rutas se producen debido al movimiento de un nodo (de aquí en adelante B) que produce cambios en la topología. En este caso, el nodo upstream (A) respecto al origen de los datos, detecta la pérdida de conectividad con B, que es su nexthop hacia un conjunto de destinos, y por lo tanto la pérdida de las rutas a esos destinos.

El reemplazo de nodo que se propone es un procedimiento que apunta a restaurar las rutas perdidas a bajo costo y sin afectar a nodos que se encuentren fuera del radio del nodo perdido. A diferencia de otras propuestas, basadas en recuperar sólo una ruta, en nuestro caso se trata de recuperar la totalidad o la mayor parte posible de las rutas afectadas por la pérdida de conectividad con B. Este procedimiento de recuperación se dispara reactivamente cuando el nodo necesita enviar un paquete a una ruta afectada. Podrá diferenciarse nuestra propuesta de las demás en que en nuestro caso se trata de reemplazar al nodo B, mientras que las otras tratan de recuperar la ruta hacia un destino en particular.

Se definen, usando la información proporcionada por NHDP, dos conjuntos de nodos: C2, el conjunto de nodos que pueden reemplazar al nodo B, y C1, el conjunto de nodos entre los cuales se encuentran los nexthops de B, para el conjunto de rutas afectadas en A por la pérdida de conectividad con B.

Las principales características del procedimiento de reemplazo son las siguientes:

- Basado en la información suministrada por NHDP: Se propone este protocolo genérico de descubrimiento de nodos vecinos para cumplir además las funciones de los frames HELLO de AODV y reemplazar los procedimientos de mantenimiento de vecinos considerados en AODV.
- Bajo overhead: Si bien el envío de los mensajes es broadcast, van dirigidos a conjuntos específicos de nodos que los procesarán. Además, es posible recuperar varias rutas con la misma cantidad de intercambios que la utilizada para una sola ruta.
- Alcance limitado: sólo se ven afectados el nodo que detecta la falla (A), el que falla (B), el nexthop de B, y un nodo intermedio (en el radio de alcance de A y del nexthop de B, que reemplazará al anterior. Sólo cambia el nexthop del nodo upstream (A) y el precursor del downstream del nodo con el que se perdió conectividad.

- Posibilidad de seleccionar al nodo reemplazo del perdido en base a diferentes características conocidas por el nodo upstream (movimiento, confiabilidad, etc).
- Compatible con el proceso AODV, y con la recuperación local AODV. En caso de que ningún nodo de C1 y el downstream del nodo que falla no implementen el procedimiento de reemplazo de nodo, o que éste no encuentre un nodo de reemplazo, se ejecuta, luego de un tiempo prefijado, la recuperación propuesta en AODV.
- No altera números de secuencia, métricas de ruteo, ni estado de los nodos para las rutas afectadas, y por lo tanto no tiene consecuencias sobre los nodos a distancia mayor que 2 del nodo en falla.

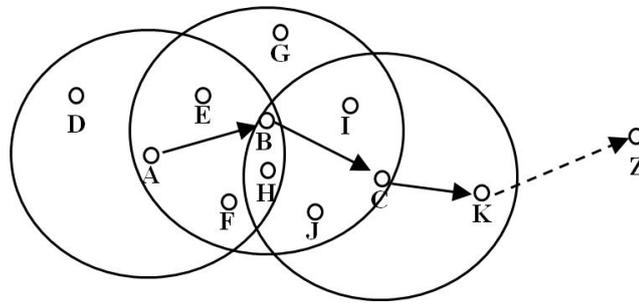


Fig. 1: Distribución de nodos. A llega a Z a través de B, C, K, etc.

#### 4.1 Información manejada por los nodos

Supongamos un nodo A con una ruta al destino Z, tal que  $\text{nexthop}(Z) = B$ . Es decir, el nodo A conoce una ruta al destino Z, y el próximo nodo, según la tabla de ruteo AODV en A, es B (Fig. 1). En un cierto momento, A pierde la conectividad con B, ya sea por caída o por desplazamiento de B. A debe encontrar un nodo que reemplace a B sin cambiar parámetros tales como secuencias, tiempos de validez de entradas y distancias.

Los conjuntos de nodos en los que se basa A para reemplazar a B son los siguientes, algunos proporcionados por NHDP y otros derivados de esa información.

- $1HN(x)$ : Conjunto de nodos simétricos a distancia 1 de x (información proporcionada y mantenida por NHDP en su base de datos (variable `L_neighbor_iface_addr_list` de cada registro Link-Set, sección 7.1 de [3]).
- $2HN(x,i)$ : Conjunto de nodos simétricos a distancia 2 de x, alcanzados a través de nodo i que es a su vez simétrico de x a distancia 1. Información proporcionada y mantenida por NHDP en su base de datos (registros 2-Hop, sección 7.2 de [3]). El conjunto  $1HN(i)$  al que nos referimos aquí está

constituído por los elementos de  $N2\_2hop\_addr$  tales que los elementos de  $N2\_neighbor\_iface\_addr\_list$  de la tupla correspondan a direcciones del nodo  $i$ . Definimos entonces

$$2HN(x, i) = \{k/k \in 1HN(i)\} - 1HN(x) - \{x\} \quad (1)$$

- $2HN(x)$ : el conjunto de todos los nodos simétricos a distancia 2 de  $x$ , alcanzados a través de cualquiera de sus vecinos,

$$2HN(x) = \{\cup_i 2HN(x, i), \forall i \in 1HN(x)\} \quad (2)$$

En base a la información anterior, cada nodo (en particular  $A$ ) puede elaborar la siguiente (Fig. 2):

- $C1(A, B)$ : Conjunto de todos los posibles nodos que desde el punto de vista de  $A$ , pueden ser nexthops de  $B$  respecto de una ruta buscada (por ejemplo hacia  $Z$ ), es decir los  $1HN$  de  $B$ , excepto aquellos que también son  $1HN$  de  $A$ , ya que si existiera un nodo  $N$  tal que fuera el nexthop de  $B$  y a su vez fuera  $1HN(A)$ , tendríamos una ruta  $A \rightarrow B \rightarrow N \rightarrow \dots \rightarrow Z$ , cuando en realidad la ruta debería ser  $A \rightarrow N \rightarrow \dots \rightarrow Z$ .

$$C1(A, B) = 2HN(A, B) - 1HN(A) \quad (3)$$

- $C2(A, B)$ : Conjunto de nodos simétricos a distancia 1 de  $A$ , que pueden conectarse al nexthop del nodo con el que se perdió conectividad ( $B$ ), y por lo tanto reemplazar a  $B$ , es decir aquellos nodos  $z$  que pertenecen a  $2HN(A, B)$  y tales que existe algún nodo en  $C1(A, B)$  que también está en  $1HN(z)$ .

$$C2(A, B) = \{z/z \in 2HN(A, B) \wedge \exists w \in C1(A, B)/w \in 1HN(z)\} \quad (4)$$

Uno de los nodos de  $C1$  es el nexthop de  $B$  respecto de una ruta (en particular a  $Z$ ). Es necesario enviar a ese nodo un requerimiento para vincularlo al nodo (en  $C2$ ) que reemplazará a  $B$ : este envío debe ser realizado por alguno o algunos de los nodos de  $C2$ . Es útil conocer a qué nodos de  $C1$  alcanza cada nodo  $i$  de  $C2$  (conjunto  $CMN(i, C1)$  para  $i \in C2$ ). Esta información permite:

- minimizar el uso de canal, seleccionando el conjunto de nodos de  $C1$  que alcance a la totalidad de nodos de  $C2$ , y
  - seleccionar nodos de  $C1$  con mayor preferencia que otros (por ejemplo más estables) para que reemplacen a  $B$  (es decir, envíen los LREP).
- $CMN(A, B, i)$ : Conjunto de posibles nexthops de  $B$  de los cuales el nodo  $i$  es vecino simétrico a distancia 1. O sea, a través de  $i$ , se puede acceder este subconjunto que puede o no contener en particular al nexthop de  $B$  hacia un destino determinado.

$$CMN(A, B, i) = 2HN(A, i) \cap C1(A, B) \quad (5)$$

Los conjuntos  $C1$ ,  $C2$  y  $CMN$  no dependen de una ruta en particular.

Tomando como referencia (Fig. 1), definimos los siguientes conjuntos de nodos para el nodo  $A$  (upstream respecto del link que falla,  $link A \leftarrow B$ )

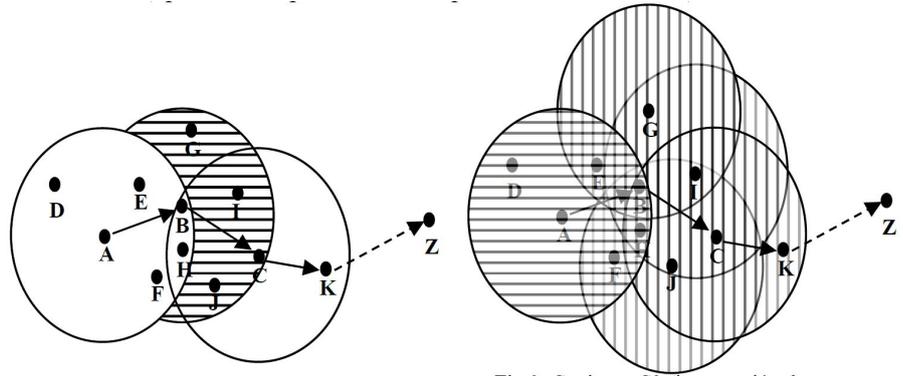


Fig. 2: Conjunto C1 (rayas horizontales). Entre ellos se encuentra el nexthop de B hacia Z (izquierda). Conjunto C2 (intersección de rayas horizontales y verticales). Entre ellos está el reemplazo de B (derecha)

$$\begin{aligned}
 1HN(A) &= \{B, D, E, F, H\} \\
 2HN(A, B) &= \{C, E, F, G, H, I, J\} \\
 2HN(A, D) &= \{E\} & *CMN(A, B, D) &= \{\} \\
 2HN(A, E) &= \{B, D, F, G, H\} & *CMN(A, B, E) &= \{G\} \\
 2HN(A, F) &= \{B, E, H, J\} & *CMN(A, B, F) &= \{J\} \\
 2HN(A, H) &= \{B, C, E, F, I, J\} & *CMN(A, B, H) &= \{C, I, J\} \\
 2HN(A) &= \{B, C, D, E, F, G, H, I, J\} \\
 C1(A, B) &= 2HN(A, B) \setminus 1HN(A) = \{C, G, I, J\} \\
 CMN(A, B, i) &= 2HN(A, i) \cap C1(A, B) \text{ ( indicados con *)} \\
 C2(A, B) &= \{k / CMN(A, B, k) \neq \emptyset\} = \{E, F, H\}
 \end{aligned}$$

En este caso, deberíamos elegir los nodos E, F y H para que envíen el LREP. Si se quisiera disminuir el tráfico en la red, descartaríamos F, ya que J (el posible nexthop de B) está cubierto por H.

#### 4.2 Operación de los nodos

Cuando un nodo A detecta la pérdida de conectividad con un nodo B, nexthop de A para una ruta hacia Z a la cual debe enviar un datagram, inicia el proceso de reemplazo de nodo.

A través de este proceso se intentará recuperar la ruta hacia Z y las demás rutas que se ven afectadas por la pérdida de conectividad (o, según se configure, un subconjunto de ellas, por ejemplo, las utilizadas recientemente).

El proceso se basa en encontrar uno o más nodos vecinos (en el conjunto C2) que reemplacen al nodo B para las distintas rutas buscadas, sin que este reemplazo modifique métricas ni números de secuencia de AODV.

Si luego de un tiempo máximo prefijado no se recupera la ruta que desencadenó el proceso (independientemente de si se han recuperado otras rutas), se inicia el

procedimiento de recuperación standard de AODV para la ruta a Z.

Las acciones de los nodos involucrados son las siguientes:

- 1 El nodo A determina, a partir de la información adquirida por NHDP, el conjunto de nodos que pueden reemplazar a B (C2) y el conjunto de nodos entre los cuales se encuentra el nexthop de B para cualquier ruta conocida por A con nexthop B (C1). Se determina además (basado en los conjuntos CMN), un subconjunto de C2 que cubre a C1 (C2C), tal que si todos los nodos en C2C envían un frame, estamos seguros de que alguno de ellos llegará a cada uno de los miembros de C1.
- 2 El nodo A envía un LREQ1 broadcast, con destinos específicos a los nodos de C2 (o C2C). El LREQ1 contiene el nodo a ser reemplazado (B), el conjunto de destinos afectados (entre los cuales está Z), y la preferencia que asigna A a cada nodo (de C2 o C2C) que puede reemplazar al nodo B.
- 3 Cada nodo que recibe el LREQ1 y es uno de los destinos especificados en el frame, envía en broadcast, un LREQ2 que contiene el nodo que falló (B), la preferencia asignada por A a este nodo receptor, y por cada ruta solicitada en el LREQ1, el nexthop del nodo para esa ruta, o 0 si el nodo no conoce la ruta.
- 4 Cada nodo (R) del conjunto C1 que recibe uno o más LREQ2, realiza los siguientes pasos para determinar qué rutas debe propagar a cada uno de los nodos que enviaron un LREQ2
  - a Crea, para cada ruta recibida en cada LREQ2, una tupla (emisor, preferencia, ruta, nexthop, precursor), donde emisor es el nodo (de C2 o C2C) que emitió el LREQ2, preferencia es la preferencia asignada a ese nodo por A, ruta es la ruta que ha sido afectada (en este caso Z), nexthop es el nexthop para la ruta según la tabla de ruteo AODV, y precursor es el nodo con el que A perdió conectividad (B).
  - b Elimina las tuplas que tienen rutas que el nodo R no conoce.
  - c Elimina las tuplas tales que en la entrada de la tabla de ruteo AODV el precursor para la ruta no es precursor (B).
  - d Elimina las tuplas en las que nexthop no es este nodo y es distinto de 0
  - e Para cada tupla, si nexthop es distinto de 0, suma un valor de preferencia mayor que el máximo posible que puede asignar A.
  - f Para cada ruta, selecciona la tupla con mayor valor de preferencia
  - g Para cada ruta y en función de la tupla seleccionada, agrega (si no estaba), al nodo emisor de la tupla como precursor para la ruta.
  - h Envía un LREP1, que contiene tuplas compuestas por la ruta y la dirección del nodo emisor de la tupla (que fue elegido como precursor para la ruta).
- 5 Los nodos que reciben el LREP1 determinan si fueron seleccionados como precursores, y en caso afirmativo incorporan la entrada AODV colocando como nexthop al nodo que emitió el LREP1, y como precursor a A.

Para cada ruta, si se encuentra un reemplazo a B, ser seleccionado en primer lugar, uno ya conectado al nexthop de B (el de mayor preferencia), si ninguno cumple lo anterior, uno no conectado al nexthop de B (el de mayor preferencia).

### 4.3 Uso de NHDP

La información provista por NHDP (conocimiento de neighbors a distancia 1- y neighbors de cada uno de ellos - a distancia 2 - posibilita la implementación del método de reemplazo de nodo propuesto. Además, el uso de NHDP independiza al nivel AODV del mantenimiento de neighbors y de los problemas derivados de los vínculos unidireccionales: mantenimiento de blacklists, uso de RREP ACKs en nodos que envían el RREP, y reintentos de envío de RREQs al no llegar el RREP correspondiente en el nodo que generó el RREQ. Se hace también innecesario el uso de mensajes HELLO (implementados como RREPs) para publicar la presencia de los nodos. Esto hace más simple la operación del protocolo, ya que la funcionalidad de NHDP abarca las funciones mencionadas de AODV (6.8, 6.9 y 6.10 de [1]). Una consecuencia del uso de NHDP es que sólo se utilizan vínculos bidireccionales.

## 5 Evaluación

La evaluación se dividió en dos partes: en la primera se evaluó el porcentaje de veces en las cuales el proceso de recuperación de nodo tuvo éxito en recuperar la ruta primaria (la que desencadena la recuperación) y la cantidad de rutas secundarias que fueron recuperadas (las demás rutas activas que se pierden al caer el nodo). Los resultados obtenidos fueron positivos: el procedimiento resultó aplicable en un número considerable de casos. Los factores considerados fueron los siguientes:

- Cantidad de nodos en los conjuntos C1 y C2 (o C2C) para el nodo afectado, depende de la relación entre la superficie y la cantidad de nodos, y su distribución geográfica.
- Cantidad de rutas que se trata de recuperar, en función de la política en la red, por ejemplo, todas las rutas activas, o las más recientes, etc. (se supuso la totalidad)
- Cantidad de rutas afectadas, que depende de la actividad de las aplicaciones.

Para realizar la evaluación, se desarrolló un código en lenguaje Tcl [9] para simular en ns-2 [8], el mecanismo de recuperación propuesto y determinar, en función de los parámetros mencionados, los casos en que nuestro método es capaz de reemplazar a la recuperación local de AODV.

Los parámetros de las simulaciones realizadas fueron los siguientes: reas de 2000 x 2000 mts, cantidad variable de nodos (de 80 a 130), con alcance de 200 mts cada nodo. Movimiento de los nodos según el modelo de movilidad random waypoint model (implementado en el entorno de ns-2). Las velocidades de los nodos se seleccionaron al azar, entre 0 y 10 m/seg. Se supuso un número variable de rutas establecidas, de 5 hasta 40; cada nodo a nivel aplicación transmite datos a tasa constante, a razón de 5 paquetes de 512 bytes por segundo.

Las simulaciones se realizaron variando la cantidad de nodos entre 80 y 130, y la de rutas entre 5 y 40. Se determinó cómo influyó este cambio en la factibilidad

de recuperación local sin uso de los procedimientos de AODV (o sea, en qué medida nuestra recuperación fue efectiva, para recuperar alguna ruta). Respecto de la cantidad de rutas recuperadas en función de la cantidad de conexiones en la red, se observa que se recuperan más rutas primarias debido a que en algunos nodos puede haber pocas rutas, en el caso extremo, es posible que exista una sola (la primaria), por eso la recuperación de primarias es mayor y no igual que la de secundarias y la diferencia entre ambas decrece al aumentar la cantidad de rutas. Otro factor es que en algún nodo vecino se haya dado de baja por tiempo a rutas secundarias, mientras que la primaria está activa. De todas maneras, se tiende a recuperar la ruta primaria en casi un 50% de los casos, evitando de esta manera los procedimientos AODV, además, se llega a un porcentaje similar (un poco menor) para las rutas secundarias, que en muchos casos evitará que se dispare la recuperación local de AODV si se necesita la ruta a alguno de esos destinos. Con respecto a las rutas recuperadas en función de la densidad, observamos que el porcentaje tanto de primarias como de secundarias tiende a aumentar con la densidad debido a la presencia de más nodos en condiciones de sustituir al nexthop original. Además siempre se mantiene algo mayor el porcentaje de rutas primarias recuperadas por las causas expuestas en el párrafo anterior (Fig. 3).

La segunda parte de la evaluación tendrá como objetivo comparar la performance de nuestra propuesta con la de los procedimientos de recuperación de AODV. Para ello se está incorporando nuestro código al código AODV desarrollado para ns-2 [8]. La evaluación abarcará además la comparación entre el método de mantenimiento de neighbors de AODV y NHDP.

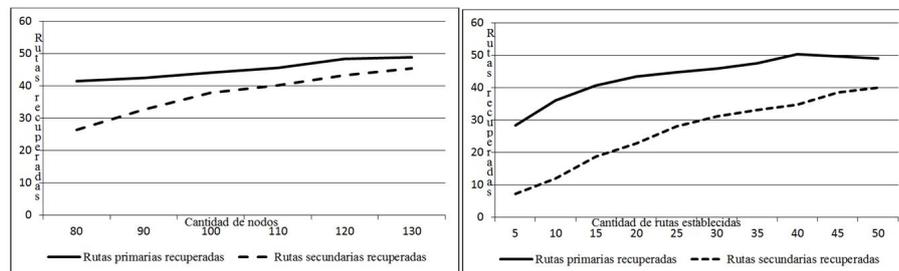


Fig. 3: Porcentaje de rutas recuperadas en función del número de rutas en la red (derecha) y en función de la cantidad de nodos (izquierda)

## 6 Conclusiones

Se presentó una mejora a AODV, consistente en un mecanismo de recuperación adecuado a casos en los que se pierde la conectividad con un nodo y por lo tanto las rutas a los destinos que dependen de dicho nodo como nexthop. Este

mecanismo se lleva a cabo antes de la recuperación local propuesta en AODV, y en caso de no tener éxito, se continúa con esta normalmente, con una demora y carga en la red poco significativas.

Nuestra propuesta difiere de las demás implementadas como mejoras a AODV, en que, ante la pérdida de conectividad con un nodo, no se trata de buscar sólo la recuperación de la ruta, sino de reemplazar el nodo por otro(s) que oficie(n) de nexthop(s) para parte o la totalidad de las rutas afectadas. La recuperación efectuada no afecta a nodos a mayor distancia que dos del nodo que detecta la falla. Por otra parte, los procesos adicionales necesarios son muy simples de implementar y con bajo consumo de recursos. Además, los nodos con esta nueva capacidad son compatibles con los que no la implementan, ya que si no obtienen respuestas en un cierto tiempo, activan el proceso normal de recuperación de AODV.

Las simulaciones realizadas demostraron la factibilidad de aplicación de nuestra propuesta. Actualmente se está adaptando la simulación al código AODV para [8]. Posteriormente, se incorporará esta mejora al código AODV desarrollado para sistemas operativos Linux y Android, con la finalidad de realizar pruebas reales en redes reducidas a pocos nodos y evaluar los resultados con diferentes aplicaciones.

## Bibliografía

1. Perkins, C., Belding-Royer, E., Das, S.: Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing, RFC 3561 (2003)
2. Clausen, T., Jacquet, P.: The optimized link-state routing protocol, Experimental RFC 3626 (2003).
3. Clausen, T., Dearlove, C., Dean, J.: Mobile Ad Hoc Network (MANET) Neighborhood Discovery Protocol (NHDP), RFC 6130 (2011)
4. Maged Salah, Eldin Solimana, Sherine Mohamed Abd El-kaderb, Hussein Sherif Eissac, Hoda Anis Barakad: New adaptive routing protocol for MANET In Ubiquitous Computing and Communication Journal (2006).
5. Priya Naidu<sup>1</sup>, P., Meenu Chawla: Extended Ad Hoc on Demand Distance Vector Local Repair Trial for MANET In International Journal of Wireless & Mobile Networks (IJWMN) Vol. 4, No. 2 (2012)
6. Kyung-Bae Chang, Dong-Wha Kim, Gwi-Tae Park: Routing Algorithm Using GPSR and Fuzzy Membership for Wireless Sensor Networks, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2006, pp. 1314 1319 (2006).
7. Jagpreet Singh, Paramjeet Singh, Shaveta Rani: Enhanced Local Repair AODV (ELRAODV), In International Conference on Advances in Computing, Control, and Telecommunication Technologies (2009)
8. Network Simulator 2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
9. Ousterhout, J.: Tcl and the Tk Toolkit, Addison-Wesley, ISBN 0-201-63337-X (1994).